12

ASTRONOMIA.

DEL TIEMPO.

MEMORIA

DEL

SEÑOR D. ANTONIO TERRERO,

Académico de número en la Seccion de Ciencias exactas.

1. El tiempo es para nosotros, como dice el célebre Laplace, la impresion que deja en nuestra memoria una serie de acontecimientos que nos consta haber tenido lugar uno despues de otro. Así es realmente como nos formamos idea de esa cantidad, que se estiende y pierde en el pasado y en el porvenir, sin que alcancemos en ella ni un principio ni un fin, como tampoco concebimos un término posible á la estension. El tiempo se asimila, pues, á una línea indefinida, y á un punto que resbalara continuamente sobre ella el instante presente de nuestra existencia.

2. El tiempo es, como la estension, susceptible de medida, y de ser en consecuencia representado por números. Es siempre suficiente para ello la division en partes iguales de tamaño conocido de la cantidad que debe ser medida, y la naturaleza misma se ha encargado de esta reparticion. Fenómenos celestes de observacion bien fácil nos ofrecen en efecto señalados en el tiempo los instantes divisorios de varios sistemas de estos intérvalos, que si no son del todo iguales, pue-

den unos considerarse equivalentes por sus inapreciables diferencias, y buscarse en los demás términos medios, entre los estrechos límites en que todos oscilan. Verdad es que los intérvalos correspondientes á cada dos de estos diferentes sistemas, ó sea sus términos medios, parecen inconmensurables entre sí; pero siempre es posible averiguar sus relaciones con la aproximacion que se quiera. Queda, pues, al hombre el cuidado de buscar estos términos medios, estas relaciones entre ellos, y por último, el apreciar con instrumentos adecuados las partes fraccionarias de la unidad natural mas reducida.

3. De estos diferentes intérvalos naturales de tiempo, solo nos haremos cargo por ahora de los que esclusivamente se derivan de los movimientos de la tierra con relacion al sol y estrellas, considerados como puntos fijos en el espacio ilimitado. Consisten estos en los *años sidéreo, trópico* y *anomalístico,* asi como tambien en los dias *sidéreo* y *solar.*

Año sidéreo es el tiempo empleado por la tierra en volver á conjuncion con el mismo punto del cielo ó sea la misma estrella; *trópico,* el que tarda en volver al mismo equinoccio, al mismo solsticio, ó sea en adquirir la misma longitud; y finalmente, *anomalístico,* el que necesita para volver al mismo ápside. *Dia sidéreo,* el comprendido entre dos pasos sucesivos del meridiano de un lugar por el equinoccio de primavera; y *solar,* el que lo está entre los del mismo meridiano por el centro del sol.

Los dias se dividen en 24 partes, llamadas horas, y determinadas por incrementos iguales (de á 15°) en los respectivos ángulos horarios, y del mismo modo cada hora en 60 minutos, y cada minuto en 60 segundos, etc.

4. El año trópico y el dia solar parecen ser los destinados por la naturaleza para reglar todos los actos de nuestra vida social. Determinado el primero por el período completo de las oscilaciones del ecuador terrestre al septentrion y mediodía del sol, y siguiendo asi la marcha de las estaciones, indica las épocas precisas de las labores; y abrazando el segundo el de las fluctuaciones luminosas en cada meridiano, señala los intérvalos dedicados á la fatiga y al descanso.

5. Los años sidéreo, trópico y anomalístico, siendo próximamente los tiempos empleados por la tierra en su revolucion completa al rededor del sol, faltando únicamente al segundo el necesario para andar el arco de precesion, y sobrando al tercero el invertido en el del movimiento de los ápsides, varian bien poco; y si se determinan por promedios entre una larga série de observaciones, deben considerarse exentos de las desigualdades procedentes de la nutacion y demás perturbaciones que pudieran afectarlos. Otro tanto sucede al dia sidéreo, que depende de la rotacion uniforme de la tierra; mas no asi al solar, que derivándose de ambos movimientos combinados, y abrazando tan solo del primero una pequeña parte de la revolucion completa, resulta naturalmente alterado por las variaciones de éste y por la oblicuidad de la eclíptica.

6. Para regularizar todos estos movimientos reduciéndolos á sus términos medios, y darse además razon de ellos por una significacion geométrica, han supuesto los astrónomos que una *tierra* ficticia t (*figura* 1.ª), que llamaremos *media ecliptical*, recorre la eclíptica en el mismo tiempo que la verdadera T, con movimiento angular uniforme respecto al sol, y viniendo en los ápsides á conjuncion con ella.

7. Claro es que partiendo ambas del perihelio P en el mismo instante físico, aunque la verdadera T camine con movimiento retardado, como empieza con mayor velocidad, se adelantará á la t, é irá alejándose mas y mas de ella hasta un cierto máximo, desde el cual volverán á aproximarse para venir á conjuncion en el afelio A, y que lo contrario sucederá en la otra mitad de la órbita, en que el movimiento de la verdadera T, aunque acelerado, empieza con menos velocidad que la t.

8. En cualquier instante dado, se llama *anomalía verdadera* á la distancia PST andada por la tierra verdadera T, y *media* á la PSt recorrida por la media t, diciéndose *ecuacion del centro* á la diferencia TSt entre ambas anomalías, y que es la misma que entre las longitudes media y verdadera, cuyo máximo asciende á 1° 55′ 33″,3. Segun esto, la posicion de la tierra media se averigua por una simple proporcion; y aplicando á ella la ecuacion del centro, que se encuen-

tra en todas las tablas solares, se tendrá la correspondiente á la tierra verdadera.

9. Como el máximo valor de la ecuacion del centro depende de la escentricidad de la órbita, por la observacion de aquella ha podido calcularse ésta con mas precision aún, que por los diámetros solares, habiéndose llegado felizmente por ambos métodos al mismo resultado.

10. Con esto se tiene regularizado ya el movimiento ánuo, y dividido el año por dos equinoccios y dos solsticios medios en cuatro estaciones, tambien medias, iguales entre sí y poco diferentes de las verdaderas, que pueden determinarse facilmente con la ecuacion del centro.

11. Mas todo esto no es bastante para igualar los dias solares, ó sea buscar un *dia medio* entre los *verdaderos*. De las dos causas que concurren á su desigualdad, hemos correjido únicamente la variabilidad del movimiento orbitual de la tierra, faltándonos salvar aún la de la oblicuidad de la eclíptica. Es preciso pues, que una segunda tierra ficticia τ, que llamaremos *media ecuatorial,* recorra análogamente el ecuador, coincidiendo con la t en los equinoccios; y esta indicará la marcha que habria de seguir nuestro planeta para que fuesen iguales los dias solares, y nos dará su término medio. La distancia ascensional $T'S\tau$ entre esta tierra τ y la verdadera T, se llama *ecuacion de tiempo* (*), que tiene dos máximos y dos mínimos, llegando á $16\frac{1}{4}$ minutos el mayor de aquellos, y á $-14\frac{1}{2}$ minutos el menor de éstos.

(*) Desde luego se comprende bien que los máximos de ascension y longitud de las dos tierras medias deben coincidir tambien en los solsticios, y que los de las verdadera y media ecuatorial se ajustan asimismo en cuatro posiciones, que no serán los solsticios ni los equinoccios mientras no coincida con estas lineas la de los ápsides.

Aunque es indiferente la línea en que supongamos caminan estas tierras ficticias, con tal que sea uniforme el movimiento longitudinal de la una y el ascensional de la otra, supondremos, para fijar las ideas, y para que sean tambien uniformes sus movimientos lineales, que describen círculos cuyos centros están en el del sol. Considerando los astrónomos la órbita aparente del sol, imaginan tambien para esplicar las relaciones entre estas unidades del tiempo, dos soles ficticios que recorren la eclíptica y el ecuador de un modo análogo al que se ha esplicado para las dos tierras medias.

12. Hemos supuesto que los dias verdaderos son desiguales, y vamos á demostrarlo. El célebre Laplace en su esposicion del sistema del mundo se contenta para esto con señalar las dos causas que concurren á hacer desiguales dichos dias, á saber: la variabilidad del movimiento orbitual de la tierra y la oblicuidad de la eclíptica. Mas todo esto no es suficiente, pudiendo compensarse estas causas para producir un movimiento ascensional uniforme, que combinado con el tambien uniforme de rotacion, dieran un dia solar de duracion constante. Concibamos, en efecto, que la tierra se moviese en su órbita de suerte que su proyeccion sobre el ecuador lo verificara uniformemente. ¿Sería uniforme su movimiento anomalístico? ¿Dejaria de existir la oblicuidad de la eclíptica? Ciertamente que no; y á pesar de existir las mismas dos causas de desigualdad diaria, los dias serian iguales.

Sea *Aa Pd* (*fig.* 2.ª) la proyeccion ecuatorial de la órbita terrestre. *A* el afelio, *P* el perihelio, y *ad* la línea de los equinoccios. Si en un instante dado se encuentra la tierra en *T*, empezará el dia sidéreo para el meridiano *TN*, y el verdadero para el *TM*. Si en el tiempo de una rotacion completa suponemos se ha trasladado de *T* á *T'*, los meridianos *TN* y *TM* habrán tomado las posiciones *T'N'*, *T'M'*, paralelas á las primitivas; habrá terminado para el *TN* el dia sidéreo comenzado en *T*, y pasará otra vez este meridiano por el punto ♈, asi como el *TM* por el mismo punto del cielo ó la misma estrella *E*.

Continuando la tierra su movimiento, y siendo mayor la velocidad de rotacion que la angular de su revolucion, aunque ambas en un mismo sentido, vendrá á pasar otra vez el meridiano *TM* por el centro del sol; y suponiendo tenga esto lugar en *T''*, terminará allí para dicho meridiano el dia verdadero principiado en *T*. De aqui resulta que $E''T''S = TST''$, será el esceso del dia verdadero sobre el sidéreo; esto es, el tiempo empleado por la tierra en girar una cantidad igual á la diferencia en ascension recta del sol por dicho dia verdadero, lo que se espresará asi:

$$Dv = Ds + \triangle Æ v \odot \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 1$$

Siendo constante Ds, si lo fuese igualmente $\triangle$ÆR$v\odot$, lo sería tambien Dv y uniforme el movimiento ascensional: es fácil ver, y demostraremos en seguida, que este es variable, luego variables $\triangle$ÆR$v\odot$ y Dv.

Lo mismo haríamos ver respecto á la proyeccion ecuatorial de la tierra ficticia t, y lo contrario en la τ, en que es seguramente uniforme dicho movimiento.

Pasemos ahora á demostrar que el movimiento ascensional de la tierra verdadera T y de la media t no es uniforme. Sabido es, por la ley de las áreas, que la velocidad en longitud es máxima en el perihelio P, mínima en el afelio A, y que crece de éste á aquel del mismo modo que decrece de aquel á éste, siendo únicamente la misma en los puntos simétricos respecto á la línea de los ápsides.

Sean $NE\,N'E'$ (*fig.* 1) la esfera celeste, y el coluro de los solsticios; N♈N'♎ el de los equinoccios; E♈E'♎ el ecuador; ♈♋♎♑ la eclíptica.

Llamemos θ á la inclinacion de ésta: ♈$'$, ♋$'$, ♎$'$, ♑$'$, las velocidades de la tierra T ó la t en estos puntos; como tambien ♈$''$, ♋$''$, ♎$''$, ♑$''$, la ascensional en los mismos. Claro es que

$$\text{♈}''=\text{♈}'\,\mathrm{Cos.}\,\theta,\ \text{♎}''=\text{♎}'\,\mathrm{Cos.}\,\theta,\ \text{♋}''=\frac{\text{♋}'}{\mathrm{Cos.}\,\theta},\ \text{♑}''=\frac{\text{♑}'}{\mathrm{Cos.}\,\theta}$$

y como en la tierra verdadera T no puede ser á la vez ♈$'$ = ♎$'$, y ♋$'$ = ♑$'$, resulta que tampoco serán á un mismo tiempo ♈$''$ = ♎$''$, ♋$''$ = ♑$''$. En la tierra media t son siempre ♈$'$ = ♎$'$ = ♋$'$ = ♑$'$: luego no siendo $\theta = 0$, tampoco podrán ser ♈$''$ = ♎$''$ = ♋$''$ = ♑$''$.

13. Para encontrar ahora las relaciones entre estas diferentes unidades de tiempo, preciso ha sido recurrir á repetidas y delicadas observaciones, que nos han dado por resultado ser $\varphi = 366{,}256376646$ el número de rotaciones de la tierra mientras verifica ésta una revolucion completa al rededor del sol, esto es, que un año sidéreo equivale á φ dias sidéreos.

$$As = \varphi Ds = 366{,}256376646\ Ds \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 2$$

y teniendo en cuenta la precesion de los equinoccios y el movimiento de los ápsides, que llamaremos $\omega = 50'',103$ y $\omega' = 11'',8$, resultará dar solo $\varphi\left(1-\frac{\omega}{2\pi}\right)$, mientras vuelve al mismo equinoccio, y $\varphi\left(1+\frac{\omega'}{2\pi}\right)$ mientras al mismo ápside. De aquí:

$$At = \varphi\left(1-\frac{\omega}{2\pi}\right)Ds = 366{,}242217276\ Ds \ldots\ldots \quad 3$$

$$Aa = \varphi\left(1+\frac{\omega'}{2\pi}\right)Ds = 366{,}259711388\ Ds \ldots\ldots \quad 4$$

Siendo φ el número de rotaciones absolutas, ó sea relativas á las estrellas, consideradas como puntos fijos en el espacio, que da la tierra mientras completa en el mismo sentido su revolucion al rededor del sol, claro es que serán $\varphi-1$ las que dará relativamente á este astro; esto es, las que pareceria dar si se le mirase desde él, y de aquí que el año sidéreo contenga este número de dias solares medios: de donde

$$Ds = \left(1-\frac{1}{\varphi}\right)Dm = 0{,}997269672\ Dm \ldots\ldots \quad 5$$

y eliminando Ds entre esta ecuacion y las (2), (3), (4),

$$As = (\varphi-1)Dm = 365{,}256376646\ Dm \ldots\ldots \quad 6$$

$$At = (\varphi-1)\left(1-\frac{\omega}{2\pi}\right)Dm = 365{,}242255936\ Dm \ldots \quad 7$$

$$Aa = (\varphi-1)\left(1+\frac{\omega'}{2\pi}\right)Dm = 365{,}253051009\ Dm \ldots \quad 8$$

14. Nada se presta tanto á la medida de los tiempos como el movimiento uniforme. Siendo constante en él la velocidad, son aquellos proporcionales á los espacios, y se hallan en razon compuesta de la directa de éstos y de la inversa de las velocidades en dos movimientos diferentes. Pues bien, ya tenemos aqui tres de estos movimientos; los dos de traslacion de las tierras imaginarias, y el de rotacion comun á éstas y á la verdadera.

Sean sus ecuaciones respectivas

$$e=vt. \qquad 9$$

$$\varepsilon=\nu\tau. \qquad 10$$

$$E=VT. \qquad 11$$

Para que estos movimientos nos sean conocidos, preciso es determinar las velocidades v, ν, V. Si elejimos por unidad de medida de los tiempos el invertido por la tierra en una rotacion completa, esto es, el dia sidéreo, tendremos

$$v=\frac{2\pi}{\varphi}=0,017155156 \qquad 12$$

$$\nu=\frac{4\pi^2}{\varphi(2\pi-\omega)}=0,017155819. \qquad 13$$

$$V=2\pi=6,283185307 \qquad 14$$

de donde

$$e=\frac{2\pi}{\varphi}t=0,017155156\ t. \qquad 15$$

$$\varepsilon=\frac{4\pi^2}{\varphi(2\pi-\omega)}\tau=0,017155819\ \tau. \qquad 16$$

$$E=2\pi T=6,283185307\ T. \qquad 17$$

Estas ecuaciones (15), (16), (17), unidas á la (5), no solo sirven como las (2), (3) y (4), (6), (7) y (8) para espresar las relaciones en-

tre las unidades de tiempo, sino tambien para conocer la longitud, anomalía y ascension heliocéntrica de la tierra y geocéntrica del sol en un instante dado, y vice-versa.

Si queremos averiguar, por ejemplo, el incremento que obtiene la ascension recta media de la tierra en los dias medio y sidéreo, en poniendo por τ en la ecuacion (16) $\frac{\varphi}{\varphi - 1}$, y despues 1, tendremos

$$\triangle Æ m \odot = \frac{4\pi^2}{(\varphi - 1)(2\pi - \omega)} = 59' \; 8'',329851369 \ldots \quad 18$$

$$\triangle Æ m \odot \text{ en } Ds = \frac{4\pi^2}{\varphi(2\pi - \omega)} = 58' \; 58''641647414 \ldots \quad 19$$

15. Conocidos ya estos tipos de medida, y trazados tambien definitivamente en el tiempo físico, y con arreglo á los padrones, los instantes divisorios de las diferentes sucesiones de unidades, resta únicamente comparar entre sí, ya en un mismo meridiano ya en distintos, los tiempos contados por el sistema sidéreo y por el solar medio, como tambien con el tiempo verdadero. Para esto examinaremos atentamente la marcha de la tierra durante un intérvalo que abrace los tres dias respectivos. Sea T' (*fig.* 3.ª) la proyeccion ecuatorial de la tierra, y τ' la tierra ecuatorial. Para el meridiano $T' M'$ será $\gamma' S' M'$ la hora sidérea, $S' M'$ la verdadera, y $s' \mu'$ la media. Se ve, pues, que la hora sidérea es la ascension recta de los puntos del cielo ó de las estrellas por donde pasa el meridiano en el instante que se considera; que la hora verdadera y la media son menores que la sidérea en la ascension recta verdadera y media del sol; por último, que la hora media escede á la verdadera en el arco $s' s_{,} = T' S \tau' = e'$, que es la ecuacion de tiempo, todo lo cual se espresa en las ecuaciones siguientes.

$$Hs = Æ * \ldots \quad 20$$

$$Hm = Hs - Æ m \odot \ldots \quad 21$$

$$Hv = Hs - Æ v \odot \ldots \quad 22$$

$$Hm = Hv + e \ldots \quad 23$$

Si al llegar la tierra á T'' y la media á τ'' se ha puesto el meridiano TM en la direccion de la línea de los equinoccios pasando por el de primavera, terminará en este instante un dia sidéreo y principiará otro; serán las 24 *hs.* del primero y las 0 *hs.* del segundo, $S''M''$ será la hora verdadera, y $s''\mu''$ la media, siendo $s''s_{''}=T''S\tau''=e''$ la ecuacion de tiempo. Como la velocidad V de rotacion es ϕ veces la v de traslacion de la tierra τ, vendrá á pasar el meridiano $\tau\mu$ por el centro del sol; y si esto se verifica al llegar las tierras á T''' y τ''', terminará en este instante un dia medio para empezar otro, y serán las 24 *hm.* del primero y las 0 *hm.* del segundo; $\Upsilon'''B'''M'''$ será la hora sidérea, y $S'''\Upsilon'''M'''$ la hora verdadera, siendo $M'''S'''=T'''S\tau'''=e'''$ la ecuacion de tiempo. Por ser tambien considerablemente mayor la velocidad de rotacion de la tierra que la de traslacion de la tierra verdadera aun en el perihelio, vendrá á pasar muy poco despues por el sol el meridiano TM; y si esto se verifica en T^{IV}, se habrá terminado un dia verdadero y empezará otro, siendo las 24 *hv.* del primero y las 0 *hv.* del segundo; $\Upsilon^{\text{IV}}B^{\text{IV}}M^{\text{IV}}$ será la hora sidérea, y $s^{\text{IV}}\mu^{\text{IV}}$ la media y la ecuacion de tiempo. Continuando su marcha nuestro globo, volverá á pasar por el punto equinoccial de primavera el meridiano en cuestion; y si suponemos tenga esto lugar en T^{V}, terminará allí el dia sidéreo comenzado en T'', siendo las 24 *hs.* de éste y las 0 *hs.* del siguiente, será la hora verdadera $S^{\text{V}}M^{\text{V}}$, y la media la $s^{\text{V}}\mu^{\text{V}}$, siendo $s^{\text{V}}s_{\text{V}}=T^{\text{V}}S\tau^{\text{V}}=e^{\text{V}}$ la ecuacion del tiempo. Suponiendo que al llegar á T^{VI} haya vuelto á pasar el meridiano que consideramos en la posicion media por el centro del sol, finará el dia medio que tuvo principio en T''', serán las 24 *hm.* de dicho dia, y las 0 *hm.* del siguiente; $\Upsilon^{\text{VI}}B^{\text{VI}}M^{\text{VI}}$ la hora sidérea, y $S^{\text{VI}}B^{\text{VI}}M^{\text{VI}}$ la verdadera, y $M^{\text{VI}}S^{\text{VI}}=T^{\text{VI}}S\tau^{\text{VI}}=e^{\text{VI}}$ la ecuacion del tiempo; por último, volviendo á pasar el meridiano TM por el sol en T^{VII}, concluirá el dia verdadero empezado en T^{IV}, serán las 24 *hv.* de este dia y las 0 *hv.* del siguiente; $\Upsilon^{\text{VII}}B^{\text{VII}}M^{\text{VII}}$ será la hora sidérea, y $s^{\text{VII}}\mu^{\text{VII}}=T^{\text{VII}}S\tau^{\text{VII}}$ la media y la ecuacion del tiempo.

Además, $T''ST^{\text{V}}$, $T'''ST^{\text{IV}}$, $T^{\text{IV}}ST^{\text{VII}}$ serán las diferencias de ascension recta verdadera en los dias sidéreo, medio y verdadero respec-

tivos, como asimismo $\tau''S\tau^{V}$, $\tau'''S\tau^{VI}$ y $\tau^{IV}S\tau^{VII}$ las diferencias de ascension recta media en un dia sidéreo, uno medio y en el verdadero á que pertenece esta última, que por ser funcion del dia verdadero será variable como las tres primeras. Se ve asimismo en la *figura* 3.ª que la diferencia de ascension recta verdadera durante un tiempo cualquiera, es igual á la diferencia de ascension recta media en el mismo tiempo, mas la diferencia de ecuacion del tiempo; que un dia medio es igual á un dia sidéreo, mas la diferencia de ascension recta media en un dia medio; que un dia verdadero es igual á un dia sidéreo, mas la diferencia de ascension recta verdadera en dicho dia verdadero; y por último, que un dia verdadero es igual á un dia medio, mas la diferencia de ecuacion del tiempo en dicho dia verdadero. Claro es que estas diferencias de ascension recta y de ecuacion de tiempo deben espresarse en tiempo sidéreo ó medio, segun la especie de dia con que se suman.

Todas estas relaciones se espresan en las ecuaciones siguientes.

$$\triangle Rv\odot = \triangle Rm\odot + \triangle e \qquad 24$$
$$Dm = Ds + \triangle Rm\odot \qquad 25$$
$$Dv = Ds + \triangle Rv\odot \qquad 26$$
$$Dv = Dm + \triangle e \qquad 27$$

Desde luego se comprende bien que la ecuacion del tiempo e será aditiva ó positiva cuando vaya adelantada la tierra verdadera, y al contrario, sustractiva ó negativa cuando atrasada; y segun acabamos de ver, cuando sea mediodía verdadero para un meridiano TM, $Hv = 0$ y $Hm = e$. En todos los anuarios astronómicos se encuentra esta ecuacion del tiempo para cada mediodía verdadero del observatorio respectivo, espresada, como es consiguiente, en tiempo á razon de 15° por hora, bien sea con el nombre de *ecuacion del tiempo*, ó ya con el de *hora media* al *mediodía verdadero*. En el primer caso se advierte si es aditiva ó sustractiva, ó bien se indican sus valores con los signos positivo y negativo, viniendo á ser en el segundo los complementos á 24 *h*. cuando la tierra verdadera está atrasada.

16. Los dias solares se distinguen con nombres que nos son harto conocidos; mas conforme al uso astronómico, y segun acabamos de considerarlos, se encuentran terminados en los instantes de los pasos del meridiano superior por el centro del sol, contándose seguidamente hasta 24 *h.* desde su principio á su fin, mientras que en el uso civil principian y acaban 12 horas antes; esto es, en los pasos inmediatos anteriores del meridiano inferior ú opuesto al del lugar que se considera, dividiéndose por el mediodía en *mañana* y *tarde,* en cada una de las cuales se cuentan desde 0 hasta 12 horas. Resulta de aquí tener estas 12 horas, mas los tiempos contados segun este último sistema. Así es, que las 6 horas del 21 de Diciembre segun el uso astronómico serán las de la tarde del mismo dia segun el civil, y las 9 de la mañana del 1.° de enero de 1852 contadas con arreglo á este último, corresponderán á las 21 horas del 31 de diciembre de 1851 segun el primero.

Varios pueblos tomaron por principio del dia el instante de la salida del sol, otros el de su puesta, dividiendo algunos el dia *artificial,* ó sea el tiempo que está el sol sobre el horizonte, en 12 horas iguales, y en otras 12 tambien iguales entre sí la *noche,* ó sea el tiempo que se encuentra oculto desde el ocaso al orto inmediato. Tambien se ha pensado dividir el dia en 10 horas, la hora en 100 minutos, y cada uno de éstos en 100 segundos, cuyo sistema emplea en sus obras el célebre Laplace.

En los distintos meridianos, cada dia denominado reconoce por su origen en el tiempo físico ó absoluto un instante diferente, y diferente por lo mismo el lugar que en él ocupa. Cada instante del tiempo comprendido entre dos pasos consecutivos de un cierto meridiano por el sol, debe servir de origen á un mismo dia nominal, y es preciso por lo tanto fijar este meridiano, que debe empezar á contar antes que los demás cada uno de los dias. Debe tenerse presente al elejirlo que no atraviese por un continente ó isla poblada, pues en tal caso pueblos muy próximos empezarian á contar dos dias consecutivos dentro de un corto intérvalo de tiempo.

Habiendo llevado nosotros á nuestras posesiones de Ultramar la

cuenta de los dias caminando siempre de Oriente á Occidente, hemos venido de hecho á elejir con el indicado objeto un meridiano al Occidente de las islas Filipinas, y que atraviesa el Asia por su mayor estension. Convendria, pues, fijar de una vez este meridiano, que podria ser el que pasa por la punta mas occidental de la isla del Hierro, una de nuestras Canarias, y que fuese además adoptado por todas lás naciones civilizadas, segun lo fue algun dia, por el primero para contar tambien desde él las longitudes. Entonces se sabria que al atravesarlo de Oriente á Occidente y cambiar las longitudes orientales en occidentales, se cambiaria tambien el dia, agregando uno á la cuenta que se llevaba, y al contrario cuando se atravesase de Occidente á Oriente. Otro de los inconvenientes que se derivan del distinto origen de los dias, es que en un mismo instante físico es distinta la hora que se cuenta en cada meridiano, siendo mas tarde en la diferencia de longitudes en los mas orientales (*), de donde nace que al espresar la hora en que ha tenido lugar un acontecimiento, sea indispensable señalar tambien el meridiano á que aquella hora se refiere, y tambien la necesidad de que cada viajero vaya adelantando su relój ó cronómetro lo que gana en longitud oriental, y atrasándolo en lo que pierde de dicha longitud ó gana en la occidental, resultando de aquí menores las horas que cuenta aquel, y mayores las que éste.

Para evitar las reducciones de tiempo de un meridiano á otro, se ha ideado contarlo en dias medios ó sidéreos desde un instante determinado por una posicion de la tierra, independiente de toda situacion local, llamándose al contado de este modo *tiempo equinoccial*, para distinguirlo del relativo á cada meridiano, á que se da el nombre de *local*.

17. La hora verdadera se averigua por la observacion de los astros, y por los cuadrantes solares; mas como este último medio sea muy poco delicado, y falte durante la noche, así como ambos en

(*) Esta diferencia en longitudes debe entenderse contando desde el horario solar hasta 360°.

tiempo nebuloso, se hace indispensable el empleo de instrumentos que puedan servir á la medida del tiempo sin estos inconvenientes. Desde luego se comprende bien que cualquier fenómeno físico que pueda reproducirse con las mismas circunstancias, teniendo necesariamente igual duracion, constituirá una verdadera unidad de medida, que si nos fuese además dado repetir sucesivamente, nos proporcionaria cualquier porcion determinada del tiempo. La medicion de éste se efectúa por medio de relojes de péndola, ó simplemente péndulos; relojes de volante perfeccionados, llamados cronómetros; clepsidras, y ampolletas.

La ampolleta, que mide el tiempo por el que emplea una determinada cantidad de arena en caer de un recipiente cónico superior á otro inferior por la garganta que los une en sus cúspides, es un artificio tosco y rudo, que solo se usa en el dia á bordo de algunos buques; y la clepsidra, que lo verifica por el descenso gradual de un líquido en un gran depósito que se vacia por un orificio conveniente, ó por la cantidad que se evacua del mismo modo, aunque susceptible de bastante exactitud, ha sido abandonada por la mayor comodidad y precision de los péndulos y cronómetros, siendo éstos los únicos medios empleados por la astronomía moderna.

18. Pasemos ya á considerar las unidades que proceden del movimiento de la luna. Consisten estas en sus períodos sidéreo y sinódico. Se entiende por *período sidéreo* ó *mes lunar periódico*, el tiempo que invierte la luna en volver á conjuncion con el mismo punto del cielo, ó sea con la misma estrella, y por *período sinódico*, ó *mes lunar sinódico*, ó simplemente *lunacion*, el que emplea en volver á conjuncion con el sol. A pesar de la corta escentricidad orbitual de nuestro satélite, basta considerar la grande retrogradacion de sus nodos, y el sensible movimiento de sus ápsides, para comprender la variabilidad de ambos períodos.

Es por lo tanto indispensable buscar un término medio en cada uno de ellos, por la observacion de un crecido número, ó si quisiéramos darnos una esplicacion geométrica de estas unidades de tiempo, imaginar dos lunas medias que se moviesen al rededor de la tierra

media eclipcial en los planos de la órbita lunar y en la eclíptica de un modo análogo á aquel con que lo verifican al rededor del sol las dos tierras ficticias. Repetidas observaciones nos han hecho conocer que el término medio entre las revoluciones sidéreas es $\psi = 27^{dm},321661423$, lo que espresaremos así:

$$Mlp = \psi\, Dm = 27,321661423\; Dm. \dots\dots\dots\dots\quad 28$$

$$Mlp = \frac{\psi\,\varphi}{\varphi - 1}\, Ds = 27,396462749\; Ds. \dots\dots\dots\dots\quad 29$$

De aquí resulta, que si suponemos (*fig.* 4.ª) sean t' y λ' las posiciones de la tierra y luna medias eclipciales en el instante de una conjuncion, t'' λ'' las que tienen al cabo de un mes lunar periódico, y t''' λ''' las que al fin del mes lunar sinódico, y llamamos x al número de dias de este último, como el mes lunar sinódico escede al período en el tiempo que emplea la luna en andar el ángulo $S\,t'''\,E''' = t'\,S\,t''' = x \triangle Ⓡm\odot$ será

$$\frac{\psi}{x} = \frac{2\pi}{2\pi + x \triangle Ⓡm\odot}$$

de donde

$$Mls = \frac{\psi(2\pi - \omega)(\varphi - 1)}{(2\pi - \omega)(\varphi - 1) - 2\pi\psi}\, Dm = 29,530680923\; Dm. \quad 30$$

$$Mls = \frac{\psi\,\varphi(2\pi - \omega)}{(2\pi - \omega)(\varphi - 1) - 2\pi\psi}\, Ds = 30,563556839\; Ds. \dots \quad 31$$

19. Los años astronómicos que hemos descrito se prestan mal á las necesidades de la vida social, á causa de no contener un número cabal de dias, y de que tan solo en un meridiano puede coincidir con el de un dia el principio de cada año. Por esta razon se han formado años artificiales, llamados *civiles*, que no son otra cosa que coleccio-

nes de dias, numerándose para distinguirlos desde aquel en que tuvo lugar un acontecimiento notable, y que se denomina *época*.

Se entiende por *calendario* ó *almanaque* unas tablas que se publican generalmente en fin de cada año, y en que se presenta dividido el siguiente en sus meses, semanas y dias, con espresion de las festividades, horas de la salida y puesta del sol y de la luna, sus eclipses, y otras noticias que pueden ser de algun interés en la vida social. Cuando se designan además las posiciones, paralajes, semi-diámetros y distancias de dichos astros, con cuantos fenómenos celestes son indispensables para las prácticas de la astronomía y de la geodesia, se suelen llamar *anuarios astronómicos, almanaques náuticos, efemérides,* y tambien *conocimiento de los tiempos.*

Año griego. El precepto religioso obligaba á los griegos á contar los años por el sol y los meses por la luna. Un oráculo les habia prescrito además que ciertas fiestas debieran celebrarse en las mismas posiciones del sol y en las mismas fases de la luna, y esto exijia estuviesen de acuerdo los años solares y los meses lunares. En un principio eran aquellos de 354 dias, despues de 360, y por último de 365, resultando de aquí que aun con este mayor número, el principio de los años retrogradaba en cada uno $0^{dm},2422$ sobre el año trópico, pasando así por todas las estaciones. De cada dos lunaciones hacian un mes de 30 dias y otro de 29, y de los dias que faltaban hasta el completo del año solar, formaban en 8 años 3 meses de á 30 dias, que agregaban á tres de dichos años, hasta que Meton observó que 235 lunaciones hacian muy próximamente 19 años, á saber, 128 á razon de 12 al año, y otras 7 que agregaban á 7 de los años del *ciclo de Meton.* Los años de 13 meses se llamaban *embolísmicos*, habiéndose despues quitado para mas exacta correspondencia una lunacion á cada cuatro ciclos. El mes lo dividian en décadas, empleando tambien para contar el tiempo un período de 4 años, que llamaban *olimpiada.* La era para contar las olimpiadas se celebró 776 años antes de Jesucristo.

El año persa constaba como el griego de 365 dias, de suerte que cada cuatro años retrogradaba próximamente un dia con respecto

al período solar, y las estaciones, como en los griegos, no sucedian en las mismas fechas, recorriendo todo el año civil. Estos dias de retrogradacion completaban un año al cabo de 1460 solares ó 1461 persas, que componian el *gran período zodiaco*, ó *grande año canicular*, despues del cual volvian á repetirse de nuevo las mismas posiciones del sol en los mismos dias del año. El año lo dividian en 12 meses de á 30 dias, agregando despues del último cinco dias *epagómenes* ó complementarios. La semana era de siete dias, á los cuales daban los mismos nombres que nosotros.

Posteriormente adoptaron una intercalacion que aproximaba bastante el año civil al solar, y consistia en hacer de 366 dias los últimos años de ocho períodos consecutivos, de los cuales el último era de cinco años y los siete primeros de cuatro. Resultaba de este modo, que teniendo 12053 dias los 33 años de los ocho períodos, escedian solo en 0,007 de dia á los 33 trópicos.

El *calendario musulman* es puramente lunar, sin la menor relacion con el curso del sol. Su año se compone de 12 meses lunares ó lunaciones alternativamente de 29 y 30 dias. Ascendiendo á 354 dias, le faltan para el completo del año solar 11,2422, por cuya razon su mes principal, el de *Moharran*, recorre todas las estaciones, retrocediendo de la primavera al invierno, de éste al otoño, y por último al estío en poco mas de 33 años. Cuentan sus años desde la hégira ó huida de Mahoma, 622 antes de Jesucristo.

El *año romano* constaba en tiempo de Rómulo de 304 dias, repartidos en 10 meses en el orden siguiente.

Marzo.	Sextilis.
Abril.	Setiembre.
Mayo.	Octubre.
Junio.	Noviembre.
Quintilis.	Diciembre.

Numa reformó el año de Rómulo haciéndolo de 355 dias, distribuidos en 12 meses como sigue.

Enero.	29	Sextilis.	29
Marzo.	31	Setiembre.	29
Abril.	29	Octubre.	31
Mayo.	31	Noviembre.	29
Junio.	29	Diciembre.	29
Quintilis.	31	Febrero.	28

mas de cada dos años hacia uno de 13 meses con 377 y 378 dias alternativamente, de suerte que el períodó de cuatro años resultaba con 1465, y de consiguiente de 366¼ el año medio. Habiendo confiado despues á los Pontífices el cuidado de intercalar los meses *mercedonius*, que debian aproximar el año civil al solar, fue tal el abuso que éstos hicieron de semejante facultad, que llegaron á celebrarse en medio del estío las fiestas de otoño (de Baco), y las de primavera (de Céres), en el rigor del invierno.

Reforma Juliana. Informado Julio Cesar por Sosígenes, astrónomo egipcio, que el año solar constaba de 365¼ dias, hizo los años *comunes*, ó sea los tres primeros de cada cuatro, de 365 dias, agregando uno al cuarto año de dicho período, que constaba por lo tanto de 366, y se llamó *bisiesto.* Este dia que se agregaba á los años bisiestos, se incorporaba al mes de febrero, que se colocó el segundo, resultando distribuido el año en la forma siguiente.

Enero.	31	Quintilis.	31
Febrero. . . .	29 ó 30	Sextilis.	30
Marzo.	31	Setiembre.	30
Abril.	30	Octubre.	31
Mayo.	31	Noviembre.	30
Junio.	30	Diciembre.	31

Con el fin de perpetuar la memoria de los emperadores Julio Cesar y Augusto Cesar, se dieron despues los nombres de Julio y Agosto á los meses séptimo y octavo, que hasta entonces habian llevado los de Quintilis y Sextilis, agregando al último un dia que se quitó á Febrero.

El año quedó por lo tanto arreglado segun se conserva en la actualidad.

Enero	31	Julio	31
Febrero	28 ó 29	Agosto	31
Marzo	31	Setiembre	30
Abril	30	Octubre	31
Mayo	31	Noviembre	30
Junio	30	Diciembre	31

Para correjir los errores acumulados por el desorden con que los Pontífices habian intercalado los meses *mercedonius*, fue preciso hacer el año en que se puso en práctica esta reforma, que lo fue el 44 antes de Jesucristo y el 708 de la fundacion de Roma ó era romana, de 445 dias, llamándose *año de confusion.*

El mes lo dividian en tres partes desiguales, llamando *calendas* al primer dia, *nonas* al quinto en los meses menores y al séptimo en los mayores, é *idus* al décimotercio en los primeros y al décimoquinto en los segundos, distinguiendo los intermedios por los lugares que retrocedian. Asi se decia *pridie calendas* á la víspera de las calendas, *tertio calendas* á la ante-víspera, etc.

Año de los cristianos; correccion Gregoriana. Si comparamos el año Juliano, que viene á ser de 365,25 dias, con el trópico, que lo es de 365,242255936, se verá que aquel tiene 0,007744064 mas que éste. Semejante exceso hace 3,0976256 dias en 400 años. Para correjirlo, estableció el Papa Gregorio XIII que los años seculares ó finales de siglo (comun ó de 100 años) dejasen de ser bisiestos, escepto el último de cada cuatro. Como estos 0,0976256 dias que aún se ponen de mas en cada 400 años, hagan próximamente un dia al cabo de 4000; si se quisiera una mayor aproximacion entre el año civil y el solar, deberian hacerse tambien comunes los seculares múltiplos de 40, y asi sucesivamente. La regla que por lo tanto debe observarse para conocer los años bisiestos, es la siguiente. *Serán bisiestos todos aquellos cuyo número representativo sea divisible por 4, escepto los secu-*

lares en que no lo sea el número de su siglo, á no serlo tambien por 40. Es asimismo fácil calcular el número de dias trascurridos de nuestra era hasta una determinada fecha.

Desde luego se comprende bien que los números de dias 365 y 366, de que se componen los años, no exijian una distribucion en los 12 meses tan desigual y desordenada como se le ha dado. Hubieran podido hacerse éstos alternativamente de 30 y 31 dias en los bisiestos, reduciendo á 30 el de diciembre en los años comunes.

No contento el Papa Gregorio XIII con aproximar los años civiles á los trópicos, para que las estaciones cayesen en las mismas fechas, al poner en práctica su sistema en 1582 quiso correjir además los 9,7345 dias que se habian aumentado desde el 325 en que se celebró el Concilio de Nicea, y que habian traido al 11 de marzo el equinoccio de primavera. Con este objeto se llamó 15 de octubre al 5 de dicho mes y año, como si desde el citado 325 hubiera venido rijiendo la correccion Gregoriana. Como el de 1600 fue bisiesto en ambos calendarios, resulta que solos 12 dias cuenta hoy de mas el calendario Gregoriano, en uso en toda la cristiandad, que el Juliano, que lo está únicamente en Rusia y demás pueblos que siguen el rito griego.

Parece lo mas natural fijar por primer dia del año aquel dentro del cual cayera un determinado equinoccio ó un solsticio: mas esto traeria los graves inconvenientes de que en el meridiano donde comenzase el dia en el mismo instante del equinoccio, no podrian saber cuál de los dos dias, el que empezaba ó el que concluia, habia de considerarse el primero, mayormente cuando habria un error en la determinacion de este meridiano; y que la cuenta de los años bisiestos no estaria sujeta á la sencilla regla que hemos establecido, y se halla al alcance del vulgo, siendo preciso señalarlos por los astrónomos. Semejantes inconvenientes se notaron ya en el calendario republicano adoptado en Francia en 1793, y en el cual se habia fijado por primer dia del año aquel dentro del cual caia el equinoccio de otoño.

Hay tambien calendarios perpétuos, en que solo se espresan las festividades no movibles y á lo mas las posiciones medias del sol. En vez de los dias de la semana á que corresponde cada uno del año, lle-

van las siete primeras letras, *A, B, C, D, E, F, G*, del alfabeto, repetidas periódicamente en el mismo orden desde 1.° de enero hasta el último de diciembre. De esta suerte todos los dias del año designados con una misma letra pertenecerán á uno mismo de la semana, y conocido cuál es de ésta el señalado con una determinada letra, se tendrá igual conocimiento de todos los demás. La letra que en cada año corresponde al domingo se llama *letra dominical;* y estando arreglados estos almanaques para los años comunes, claro es que en los bisiestos habrá dos letras dominicales, una hasta el 29 de febrero y otra desde este dia en adelante, siendo fácil averiguar las que deben rejir en los años siguientes. En cada período de 28 años, si se prescinde de la correccion Gregoriana, se repiten del mismo modo estas siete letras, y á este período se llama *ciclo solar*. Se nombra *ciclo lunar* al período de 19 años en que se repiten próximamente en las mismas fechas las fases de la luna, diciéndose *áureo número* el lugar que cada año ocupa en el ciclo lunar, siendo primero de este período el que precedió al nacimiento del Redentor. Se designa con el nombre de *indiccion* á un período de 15 años; y si se cuenta éste desde 1.° de enero de 1813, se dice *indiccion romana. Edad de la luna* es el número de dias trascurridos despues del último novilunio, y *Epacta* la edad de la luna al principiar el año.

Antonio Terrero.

Proyeccion sobre el Coluro de los Solsticios.

Fig.a 1.a

Proyeccion Ecuatorial.

Fig.a 2.a

Fig.a 3.a

Fig.a 4.a

Lit. de Estado Mayor. Madrid.